

# LAKVATTENKVALITET UNDERSÖKT MED MULTIVARIAT ANALYS

## Leachate quality investigated with multivariate data analysis

av MARTIJN VAN PRAAGH och KENNETH M PERSSON  
Avdelningen för teknisk vattenresurslära LTH, Lunds Universitet, Box 118, 221 00 LUND  
e-post: martijn.van\_praagh@tvrl.lth.se , Kenneth\_m.persson@tvrl.lth.se



### Abstract

Leachate constitutes the main potential long-term environmental risk of landfill emissions. The objective of this work is to identify the extent of major external influences on conductivity monitoring data and its implications for future monitoring programs. Data from three landfills in Sweden has been evaluated with the help of multivariate data analysis. With the aid of a principle component analysis (PCA) the influences of surface water, groundwater and recycled leachate on the complete measurements' variability are investigated. The impact of final capping on the variability is clearly reflected. A primary model is developed for the dependence of conductivity variability on water levels' variability with the help of a canonical correlation analysis (CCA). On the one hand, the results allow identification of surplus sampling points. On the other hand, crucial sampling points are highlighted, which are intensively subject to processes other than mixing with surface water. Consequently, these results make way for tailor-made monitoring for comparable landfill situations.

*Key words* – Landfill monitoring, leachate analysis, multivariate data analysis, PCA, CCA, electrical conductivity, final capping, leachate recirculation

### Sammanfattning

Lakvatten är den faktor som ger upphov till störst miljöpåverkan från deponier på lång sikt. Syftet med detta arbete är att identifiera om det statistiska verktyget multivariat analys kan användas för att öka förståelsen av hur lakvatten varierar och hur det påverkar omgivande recipient. Lakvattendata från tre deponier i Sverige har bearbetats med hjälp av de multivariata verktygen principalkomponentanalys (PCA) och kanonisk korrelationsanalys (CCA). PCA fördjupade förståelsen av hur blandningar av ytvatten, grundvatten och recirkulerat lakvatten påverkade lakvattenkvaliteten. I en deponi visade det sig att två provtagningspunkter överlappade varandra i informationsvärde. Med hjälp av CCA kunde effekterna av övertäckning och ändrad lakvattenbildning dokumenteras och flödesprofiler i avfallet följas. Multivariat analys visade sig vara ett kraftfullt verktyg för att öka genomlysningen av vad som händer i deponin och i recipienten.

## 1. Inledning

Sedan 1994 har antalet deponier som tar emot mer än 50 ton avfall från kommunerna per år minskat från omkring 300 till 175. Eftersom deponibehovet minskar kommer ytterligare upplag, framför allt sådana som tar emot förhållandevis små mängder deponerat avfall, att läggas ned inom kort. 1994 deponerades drygt 6 miljoner ton avfall, men 2004 bara 2,4 miljoner ton (RVF, 2005).

När avfallsvolymen som deponeras i Sverige minskar,

leder detta också till att deponiernas inre ändras. Mängden organiskt material från slam och mekaniskt-biologiskt förbehandlat avfall minskar kraftigt och mikroorganismerna i deponin får brist på lättnedbrytbart organiskt material. Mängden vatten minskar pga krav på mellantäckning för metanoxidation. När deponin slut-täckts minskar tillförseln av vatten, vilket gör hela avfallskroppen torrare.

Efterbehandlingsfasen för nya deponier har i svensk lagstiftning satts som minst 30 år. Detta motsvarar bara perioden som deponier har undersökts på ett systema-

tiskt och vetenskapligt sätt. De långsiktiga emissionerna har som regel endast skattats, men några äldre tyska deponier har också undersökts angående emissionernas långtidsutveckling. I Tyskland gäller emissionsvärden för vattenburna utsläpp, vilka kan användas som en grov gräns för när emissionerna är »ofarliga» för recipienten. Resultaten tyder på att emissioner från hushållsdeponier inte kommer att underskrida dessa gränsvärden flera decennier senare än 30 år (Kruempelbeck, 1999 i van Praagh och Persson, 2006). Dessutom baseras en rad undersökningar på hypotesen att alla nedbrytningsprocesser följer ett och samma förlopp. Detta är dock en kraftigt förenklad modell av verkligheten (van Praagh och Persson, 2006).

För att inte bara sväva i okunnighet om deponiernas framtid och basera prognoser för emissioner från deponier på rena gissningar, har Avfall Sverige (tidigare Svenska renhållningsverksföreningen, RVF) bland annat initierat projektet »Miljökonsekvenser av ändrade deponeringsförhållanden», som pågått på Lunds tekniska högskolas avdelning för teknisk vattenresurslära sedan 2003 (van Praagh och Persson, 2005). Som en följd av detta arbete har behovet av att studera effekterna av sluttäckning identifierats. Vad som egentligen blir konsekvenserna av torrare, vattenomättat avfall verkar vara dels ett saltare lakvatten, dels ett lakvatten som är mera beroende av avfallsets inneboende alkalinitet.

Genom multivariat analys av datamängder går det att identifiera samband mellan olika parametrar också i disparata mätserier med varierande bakgrundsvärden. Med hjälp av en mycket komplett serie historiska data (provtagning varje månad på olika ställen i deponin) kunde en multivariat analys göras på avfallsbolaget MERAB:s deponi Rönneholm i Eslövs kommun (van Praagh och Persson, 2004). Medan hydrologin i form av nederbörd, grundvattenflöde och bevatning av energiskogen på Rönneholm kunde identifieras som den viktigaste faktorn som påverkar lakvattenkvaliteten, mätt som elektrisk konduktivitet, syns det också i den multivariata analysen hur den biokemiskt och mikrobiellt styrda utlakningen ur avfallet ändrar dess vattenkvalitet.

Verktyg för att genomlysna hur lakvattenmängd och avfall påverkar lakvattenkvaliteten behöver utvecklas. Ett sätt är att utvärdera datamängder från deponier i olika faser (från tämligen nystartade till avslutade och sluttäckta enligt alla bestämmelser) med hjälp av multivariat analys. Det är välkänt att de 5 respektive 50 mm/år högsta tillåtna lakvattenbildning för respektive deponiklassen farligt avfall och icke-farligt avfall är satta utan någon särskild lokalhänsyn. Men författningen beviljar uttryckligen tillsynsmyndigheten rätten att godkänna avvikelser från dessa övre gränsvärden för lakvattenbildning. Frågan är dock om tillsynsmyndigheten vågar tillåta några avvikelser. Bevisbördan vilar tungt på depo-

niägaren. Det gäller att visa att avvikelserna är tillåtliga »utan risk för skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljö».

## 2. Egenkontroll

I Miljöbalken (26 kap. §19) anges *Den som bedriver verksamhet eller vidtar åtgärder som kan befarias medföra olägenheter för människors hälsa eller påverka miljön skall förtlöpa planerna och kontrollera verksamheten för att motverka eller förebygga sådana verkningar. Den som bedriver sådan verksamhet eller vidtar sådan åtgärd skall också genom egna undersökningar eller på annat sätt hålla sig underrättad om verksamhetens eller åtgärdens påverkan på miljön. Den som bedriver sådan verksamhet skall lämna förslag till kontrollprogram eller förbättrande åtgärder till tillsynsmyndigheten, om tillsynsmyndigheten begär det.* Nyckelbegreppen förklaras i Förordning om egenkontroll (SFS 1998:901), där i §6 det anges: *Verksamhetsutövaren skall förtlöpa och systematiskt undersöka och bedöma riskerna med verksamheten från hälso- och miljösynpunkt. Resultatet av undersökningar och bedömningar skall dokumenteras.*

Naturvårdsverket (NFS 2001:2) vidareutvecklar begreppen. *Verksamhetsutövaren bör undersöka och bedöma påverkan på miljön och människors hälsa från verksamheten när den bedrivs på normalt sätt. Då bör sådan påverkan komma i fråga som inte uppmärksammats eller beaktats när verksamheten kom till stånd eller som inte beaktats i samband med att förändringar av den gjordes. Exempel på detta kan vara att ta reda på om användningen av en viss kemisk produkt ger olägenheter som inte förutsågs när den började användas, om den normala driften eller skötseln av en verksamhet påverkar människors hälsa och miljön på ett sätt som inte varit avsett, om det kan uppstå nya olägenheter av utsläpp eller om buller från verksamheten förändrats, om olägenheter från transporterna till eller från verksamheten med tiden ökat eller om olägenheter kan uppstå som följd av de normala rutinerna för drift eller skötsel. Ny kunskap eller nya rön som blivit allmänt tillgängliga eller kända kan också leda till att verksamhetsutövaren bör undersöka och bedöma en eventuell risk.*

Frekvensen av undersökningar kan fastställas av tillsynsmyndighet på förslag av verksamhetsutövare. I en verksamhet med större eller stor påverkan på människors hälsa eller på miljön kan undersökning och bedömning ske löpande eller med tätare intervall, exempelvis en gång per kvartal, per halvår eller årligen. Men vad som skall analyseras och vilken nödvändig information som behövs för att fastställa påverkan på människans hälsa och miljön bestäms i stort sett av verksamhetsutövaren. En deponi är samhällets samlade materialminne. Allt som används i samhället kommer också med nödvändighet att förekomma i avfallet, i olika halter och

följdaktligen också i lakvattnet. Är det då deponiägarens uppdrag att analysera allt som kan förekomma i lakvattnet? Nej, det är orimligt och bryter därmed bland annat mot MB 2 kap. §7.

Men vad behövs i sådant fall för att ta fram tillräcklig information ur egenkontrollen? Egenkontroll genererar en mängd disparata mätdata. Ett sätt att undersöka och sortera stora datamängder matematiskt är att tillämpa multivariat analys. Det är ett samlingsnamn för olika statistiska metoder vilka används för att beskriva och analysera mångdimensionella datamängder, till exempel data med många mättillfällen och många parametrar. Detta är mycket lämpligt för deponier, där mätvärden finns för avfallsmängd, lakvatten, deponigasmängder, lakvattensammansättning osv. Teorin för multivariat analys utvecklades under förra halvan av 1900-talet men kunde då inte användas i större omfattning p.g.a. beräkningarnas komplexitet. Tack vare datorisering och modern programvara kan numera multivariat analys användas i så disparata vetenskaper som företagsekonomi, medicin, arkeologi och avfallsforskning.

Det finns en hel mängd statistiska metoder för multivariat analys, vars syften kan vara olika. Vissa metoder avser att förenkla information genom att komprimera data och reducera antalet dimensioner (bl.a. principalkomponentanalys och multidimensionell skalning). Andra avser att förklara och beskriva strukturer i datamängderna (som faktoranalys och kanonisk analys). En tredje familj avser att gruppera och klassa studieobjekt (klusteranalys och diskriminantanalys). I en fjärde grupp metoder är syftet främst att förutsäga utveckling, sk prediktion (multivariat regression och PLS). Ett femte område avser att ta fram empiriska bevis för samband mellan mätdata (så kallad statistisk inferens, bl.a. Hotellings T2 och multivariat varians).

Principalkomponentanalys har använts för statistiska analyser av lakvatten tidigare (Andreas et al., 1995 och Kylefors, 2003). Principalkomponentanalys och kanonisk analys har testats i detta arbete för några olika deponier i olika utvecklingskedan för att beräkna hur förhållandet mellan miljöpåverkan på grund av vatten (hydraulik/hydrologi) och avfall (blandat industri- och hushållsavfall, icke-farligt avfall, farligt avfall) ser ut. Ambitionen är att kunna placera in deponierna i en tredimensionell riskklassningsmatris med vatten, avfall och tid som de tre dimensionerna.

Lakvattenkvalitetsdata från tre avfallsföretag har bearbetats: Västsvenska Renova (Fläskebo), sydsvenska SYSAV (Spillepeng) och mellansvenska MERAB (Rönneholm). Data har bearbetats och korrelerats mot lakvattenvolym, deponialder och TOC-halt i avfall. Vad vi sett från tidigare undersökningar är att avfallets ålder, tid och lakvattenflöde har stor inverkan på lakvattenkvalitet.

Resultaten torde kunna användas direkt för att ta fram bättre och mera heltäckande beskrivningar av hur lakvattenkvaliteten i framtiden kommer att variera som funktion av vatten, tid och avfallssammansättning, samt hur lakvattnet kommer att ändras med tiden och med volymen bildat lakvatten. Förhoppningsvis skall det gå att förutsäga vad exempelvis en halvering av lakvattenbildningen kan ge för ändrade efterbehandlingskrav och vad en lämplig egenkontroll bör omfatta för parametrar.

### 3. Modellresultat Rönneholms mosse (Eslöv, MERAB)

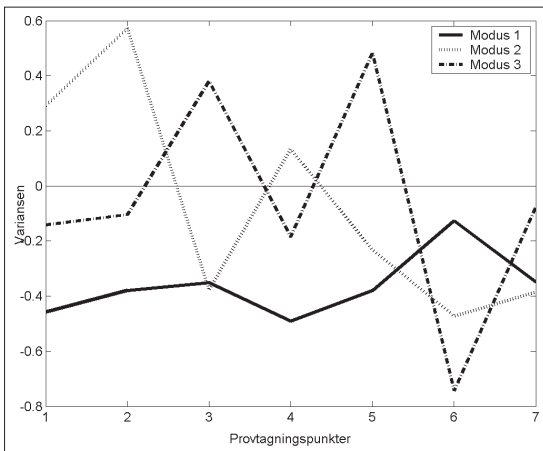
#### 3.1. Principalkomponentanalys (Principal Component Analysis, PCA) på konduktivitet i lakvatten och vattenstånd i deponin

Mätvärden från 84 tillfällen och 7 olika provtagningsplatser ingick i undersökningen. Dessa har normaliserats genom att ta logaritmen och standardiserats genom att dra ifrån medelvärdet för varje provtagningsplats. Detta gjordes för att kunna jämföra variansen, även om värden skulle skilja sig åt flera storleksordningar. I resultatet kommer dessutom alla värden att varieras kring noll. De sju första principalkomponenterna, också betecknade modus, motsvarande de sju första kolumnerna av nya datamatriser och omslöt 99,99 % av den statistiska variansen. De tre första modus omslöt 77 % av ursprungsvariansen. Detta innebär att bara 23 % av informationen i ursprungsdata (84x7 datapunkter) inte återges av dessa tre modus (som består av 21 datapunkter). PCA sorterar informationen så att de olika modus är lineärt oberoende av varandra. Här dokumenteras en av PCA-verktygets styrkor: Det förekommer inget lineärt samband mellan de transformerade kolumnerna. Det betyder också att om det finns fysiska processer bakom variansen, så måste den skilja sig för varje modus.

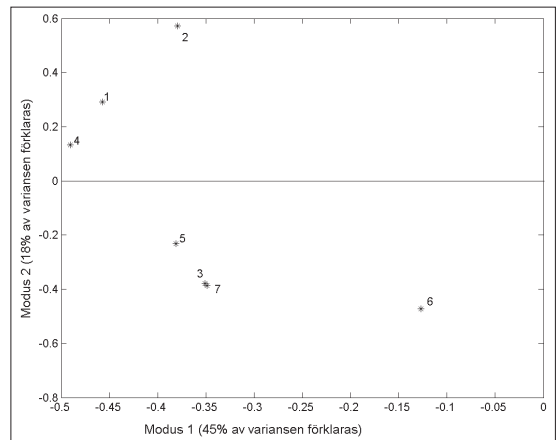
Den första principalkomponenten omslöt 45 % av all varians. Denna varierade bara i begränsad omfattning mellan de sju provpunkterna på Rönneholm (nummer 1–7 motsvarar provpunkterna nr. 37, 38, 39, 41, 42, 43 och 44). Principalkomponenterna 2 och 3 skiftade tecken med provpunkterna, se figur. 1. Alla bilder är tagna från van Praagh och Persson, 2004.

Projektionen av 1:a och 2:a modus mot tid gav inga tydliga samband, men vid projektionen av 3:e modus, som omsluter 14,7 % av den sammanlagda variansen mot tid, ändrades modusvärdet tydligt efter 52 månader (se fig. 2), vilket sammanfaller med när en etapp på Rönneholms mosse sluttäcktes med tätskikt som minskade lakvattenbildningen i det området.

Hur 1:a och 2:a modus samvarierar med varandra redovisas i figur 3. Värden långt från nollvärdet (mittlin-



Figur 1. 1:a, 2:a och 3:e modus (principalkomponent) i PCA-analysen för MERAB:s Rönneholms mosse. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.



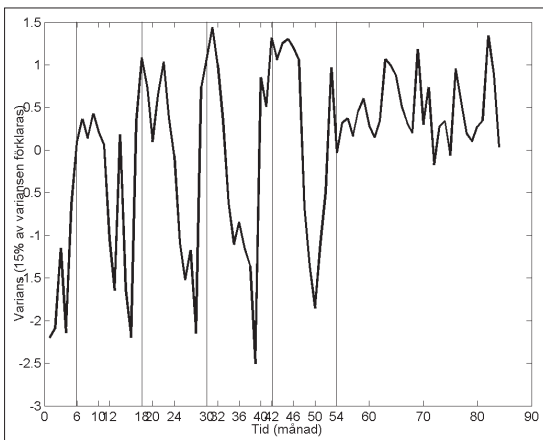
Figur 3. Redovisning av 1:a och 2:a modus beroende av varandra på MERAB:s Rönneholms mosse. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.

jen) inverkar förhållandevis mycket på variationen. Mätvärde 3 och 7 överlappar varandra, vilket får tolkas som att dessa värden innehåller samma informationshalt med avseende på variationen.

Ett 2-dimensionellt diagram av 1:a modus sammanfaller med Rönneholms mosses topografi, se figur 4a och 4b. Detta kan tolkas som att salthalten i lakvattnet minskar med ökande avrinning. Provtagningspunkterna är markerade med snedställda kvadrater.

Modus-2-diagrammet visar två distinkta linjer där variansens tecken ändras, vilket kan tolkas som att lak-

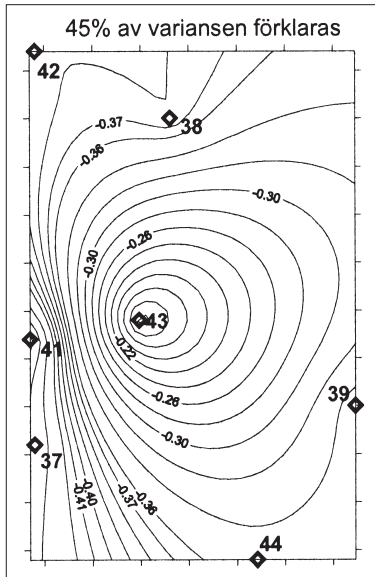
vattenkvaliteten i norr och väster skiljer sig från lakvattenkvaliteten i söder och öster, figur 5a. Börjesson (1996) redovisar ett grundvattenflöde som överensstämmer med detta (se figure 5b). Diagrammet för modus 3 redovisar en tydlig linje runt deponin (figur 6a) som sammanfaller med det område som är bevattat med recirkulerat vatten sommartid (figur 6b). Recirkulerat lakvattnet höjer lakvattenkonduktiviteten, vilket behöver noteras. Den zon som inte bevattas har ett annorlunda lakvatten.



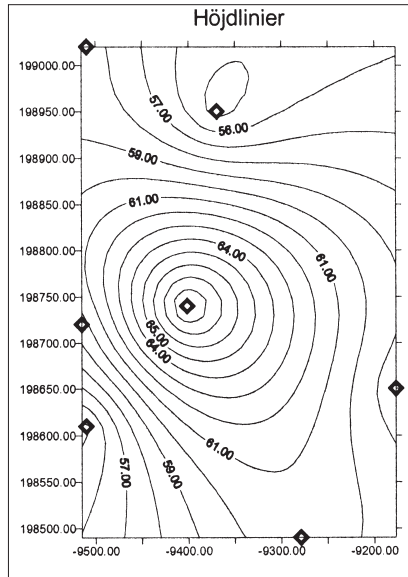
Figur 2. Projektion av 3:e modus (principalkomponenten) för MERAB:s Rönneholms mosse som funktion av tid. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.

### 3.2. Kanonisk korrelationsanalys (Canonical Correlation Analysis, CCA)

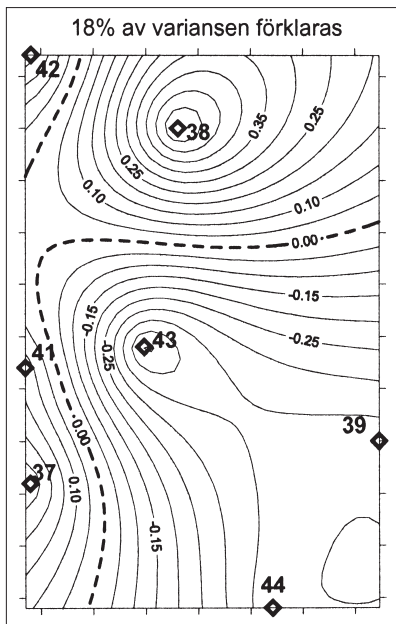
En CCA-beräkning med de fyra första modus från PCA-analysen genomfördes för att fastställa hur variationen i lakvattennivån (prediktor) kunde förklara variationen i konduktivitetsvärden över tid (prediktand). Beräkningen omslöt 90 respektive 87% av den förklarade variansen. Resultaten redovisas grafiskt som ett diagram med tidserien av prediktor och prediktand, se figur 7a. För att återföra resultaten till verkligheten, redovisas variansen för både den nya, transformerade lakvattennivån och den nya, transformerade konduktiviteten i kartor på ett liknande sett som med PCA, se figur 7b och 7c. Således går det att visa korrelationen mellan de nya tidsserierna (kanoniska vektorer) och hur de med PCA beräknade värdena varierar vid sina respektive provtagningspunkter. Provpunkterna markeras med snedställda kvadrater. Områden som är mörkskuggade områden har en signifikans  $p < 0,05$ . Den första kanoniska vektorn korrelerar väl med prediktor och prediktand, figur 7a.



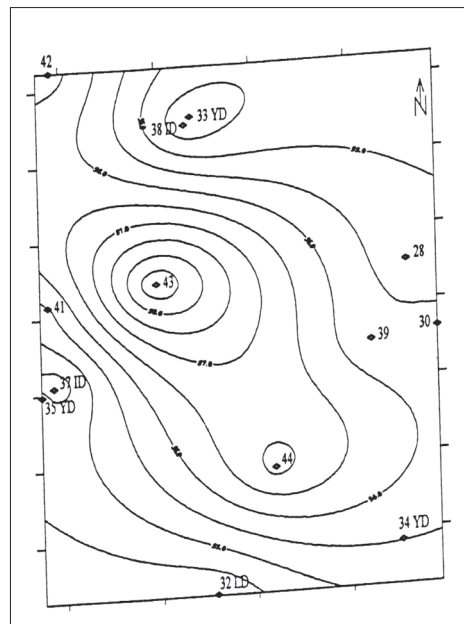
Figur 4a. PCA modus 1. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.



Figur 4b. Rönneholms mosses deponitopografi. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.

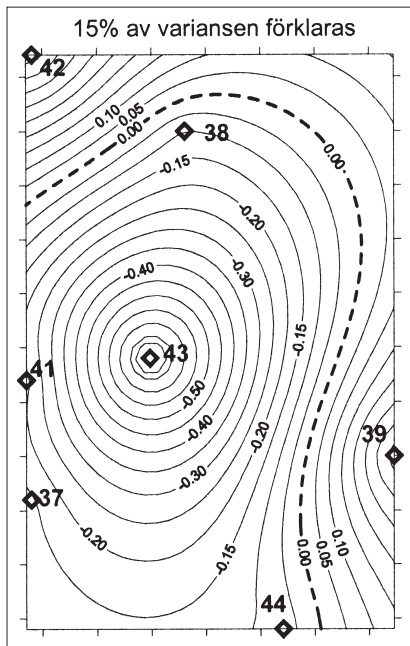


Figur 5a. PCA modus 2. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.

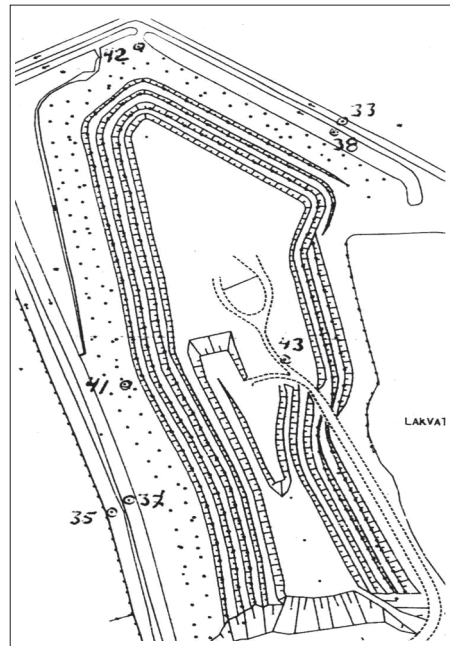


Figur 5b. Trycknivåer för grundvattnet under deponin. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.





Figur 6a. PCA modus 3. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.



Figur 6b. Bevattnat område. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.

Tiden korrelerar positivt mot den första kanoniska vektorn, men korrelationerna av tidsserierna mot speciella punkter på figurerna 7b och c har omvänt tecken över hela ytan, vilket ger en negativ korrelation mellan prediktor och prediktand. Förklaringen kan fysiskt vara att olika stora volymer förhållandevis saltfattigt grundvatten och ytvatten inverkar på lakvattennivåerna i deponin. Beroende på inflöde eller utflöde av externt vatten ändras konduktiviteten i olika grad vilket kan detekteras med en konduktivitetmätare.

### 3.3. Principalkomponentanalys (Principal Component Analysis, PCA) på kemisk-fysikaliska parametrar vid olika mätpunkter i och runt deponin

Lakvattenmätvärden från 4 olika provtagningspunkter (2 vid yttre dike nedströms norrut, 4 vid yttre dike uppströms, 5 yttre dike nedströms söderut, och 32 i lakvattendammen) med 7 olika parametrar (BOD, DOC, TOC, P, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> och totN) vid 32 olika mättillfällen har använts som indata (896 datapunkter). 90 % av ursprungsvariansen förklarades med de första 8 kolumnerna av principalkomponentmatrisen (8 modus). Resultaten för de första två modus visas i figur 8. Dessa innehåller 35 och 13 % av ursprungsinformationen.

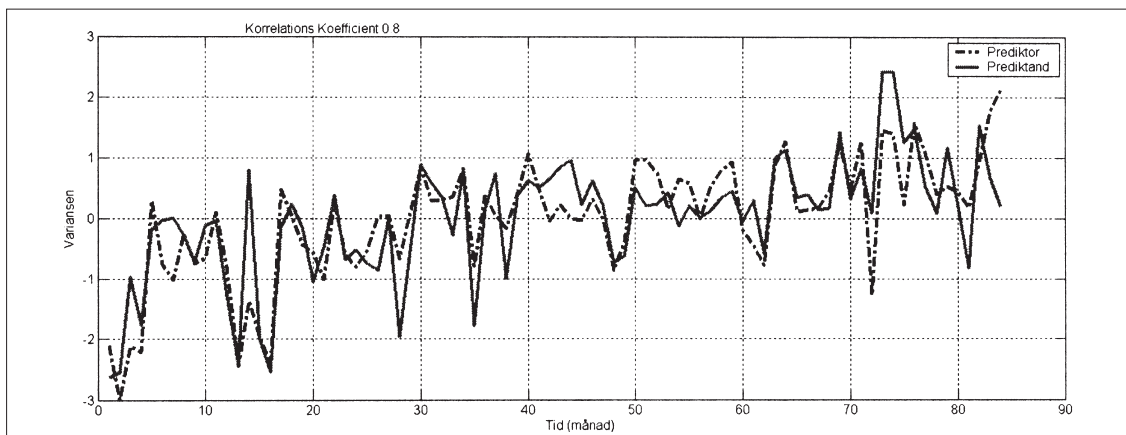
Det visas en anhopning av vissa parametrar för de olika provtagningspunkterna. Förutom NO<sub>3</sub> befinner sig alla mätvärden för punkt 5 i nedre högre kvadranten. För punkt 32 är det tvärtom, med undantag för totN. Mätvärden för punkt 2 och 4 ligger i övre högre kvadranten, återigen med ett med undantag för NO<sub>3</sub>. Mätpunkt 5 skiljer sig således markant från dem andra punkterna, och dess parametrar samvarierar i stort sett inte med någon annan punkts mätvärden. Variansen mellan uppströms (4) och nedströms (2) liknar varandra, dessa skiljer sig dock båda från hur parametrarna i lakvattnet varierar (32).

## 4. Resultat från andra deponier

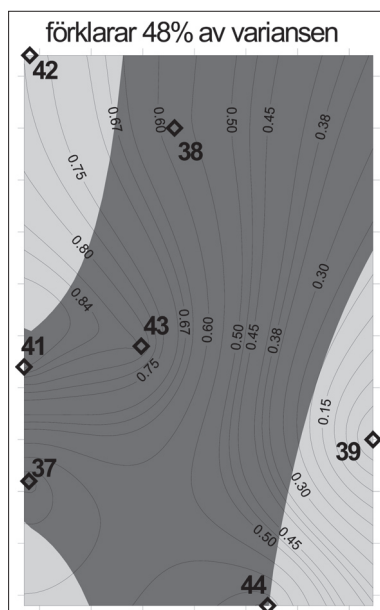
### 4.1. Spillepeng (Malmö, SYSAV)

Spillepeng är ett mycket lovande studieobjekt för att utveckla deponiövervakning och riskklassering av deponier med multivariata analyser, inte minst på grund av sina talrika celler med olika ålder inom samma klimat och grundvattenförhållanden. Figur 9 och 10 visar inledande PCA analys av lakvatten från en äldre hushållsavfalls-cell respektive från en farligt avfall-cell.

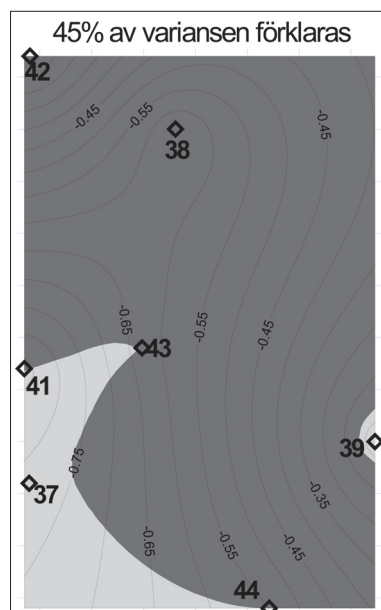
Observera skillnaden för de parametrar som mäter syreförbrukande ämnen i lakvatten. I figur 9 ligger varia-



Figur 7a. Tidserie för den 1:a kanoniska vektorn. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.



Figur 7b. CCA modus 1, prediktor. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.



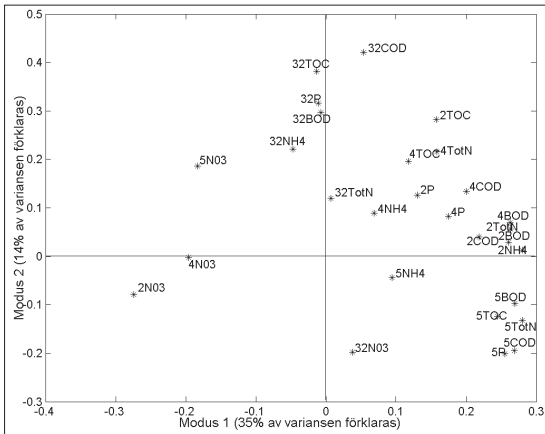
Figur 7c. CCA modus 1, prediktand. Waste Management and the Environment II, ISBN 1-85312-738-8, WIT Press, 2004.

tionen i TOC, BOD, COD och Susp (suspenderat material) nära varandra. I figur 10 befinner sig BOD och COD i olika hälfter avseende modus 2. De (än så länge oidentifierade) fysikalisk-kemiska processer bakom modus 2 har en motsatt effekt på dessa varianser – när BOD och TOC ökar minskar COD. Susp befinner sig dessutom i motsatt hälft även avseende modus 1. Detta innebär att processen bakom transporten av det suspenderade materialet har starkt motsatt effekt på utlakningen av BOD och TOC, eftersom denna skulle förklara hela 47% av variationen. Vidare förväntas ett starkt samband mellan variansen för kloridemissioner (jon

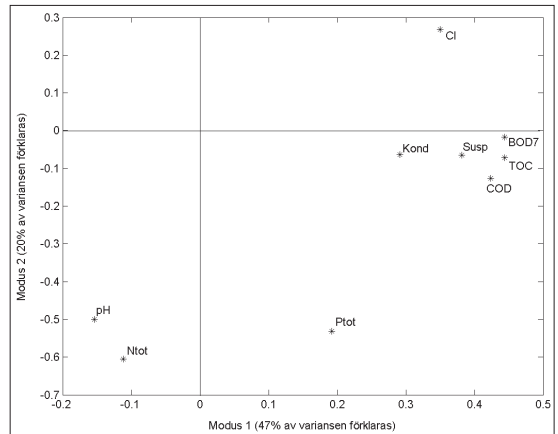
med högsta koncentration) och elektrisk konduktivitet. Figur 10 stärker denna hypotes; resultaten för klorid och elektrisk konduktivitet sammanfaller nästan exakt. Lakvattnet från den äldre hushållscellen (figur 9) visar att processerna bakom modus 2 har motsatt effekt på dessa parametrar.

#### 4.2. Fläskebo (Göteborg, RENOVA)

Fläskebo är den första deponin i Sverige som har byggts från grunden och tagits i drift enligt de nya EU-direktiven. Figur 11 visar de två första modus för PCA analysen



Figur 8. Modus 1 mot modus 2 för kem-fys parametrar Rönneholm.



Figur 9. Redovisning av 1:a och 2:a modus beroende av varandra för äldre hushållsavfall-cell på Spillepeng (data från 1991 till 2003).

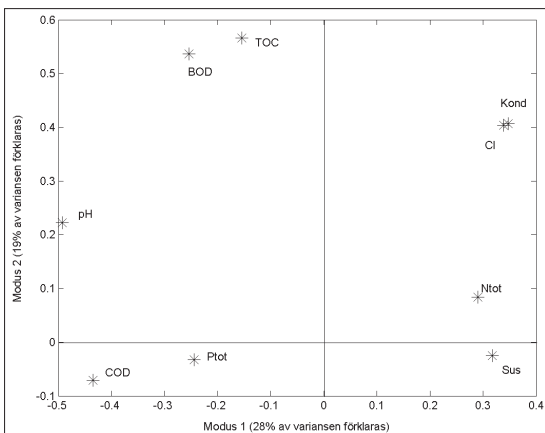
på analysvärden på obehandlat lakvatten blandat från en grovavfallscell och en industriavfallscell under perioden november 2003 till augusti 2006.

På samma sätt som för Spillepengs lakvatten från deponicellen för farligt avfall (se figur 10) befinner sig BOD och suspenderat material i motsatta kvadranter, och även BOD och TOC/DOC hittas i den vänstra respektive den högra halvan av resultaten. Återigen verkar det finnas bara små skillnader i variationen mellan lösliga salter (klorid (Cl), natrium (Na), kalium (K)) och summaparametrarna salinitet, elektrisk konduktivitet och suspenderat material. DOC och TOC ligger nära varandra, BOD ligger dock i motsatt hållt avseende modus 1. COD har inte mätts i lakvattnet från Fläsekebo.

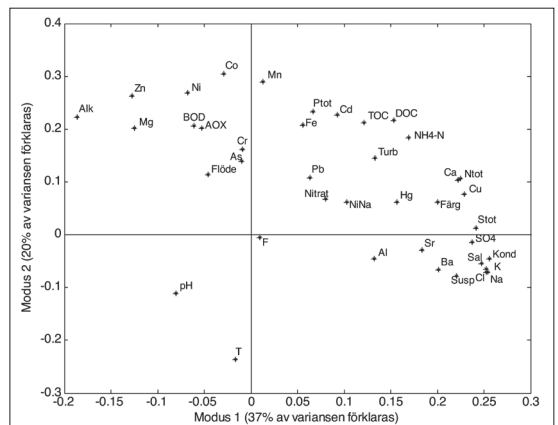
Observera att AOX (adsorberbara halogenerade kolväten) ligger nära BOD och i motsatt hållt gentemot TOC.

## 5. Slutsatser

PCA-analys kan användas för att reducera bakgrundsbruset i mätdata och därigenom analysera variansen i en stor mängd mätdata. Det är möjligt att både undersöka skillnader i olika mätpunkter och mellan olika parametrar eller lakvatten. För Rönneholms mosse var det möjligt att matematiskt visa att två provpunkter representerade samma lakvattenkvalitet, även om de är lokaliserade på olika ställen topografiskt. Just topografin var den



Figur 10. Redovisning av 1:a och 2:a modus beroende av varandra för farligt avfall-cell på Spillepeng.



Figur 11. Redovisning av hur 1:a och 2:a modus beror av varandra för lakvatten från Fläsekebo.



parameter som verkade inverka mest på variationer i konduktivitet. Näst störst betydelse verkade utbytet av salter mellan lakvatten och grundvatten att ha, följt av sluttäckning. Denna sista parameter kunde förklara 15 % av variansen, vilket kan tolkas som att sluttäckning inte har så stor betydelse för salthalten i lakvatten från Rönneholms mosse.

CCA-beräkningen visade att konduktiviteten kunde modelleras mot lakvattennivåerna i deponin. Lakvattennivåerna verkar ha stor inverkan på hur och hur mycket salter löses i lakvattnet.

För Spillepeng verkar olika lakvattens halt COD betyda olika saker. COD, BOD och TOC samvarierade i den äldre hushållsavfallscellen, medan COD i cellen för farligt avfall inte varierade med BOD eller TOC. Avseende variansen i dessa parametrar finns det mer likheter mellan Fläskebo och cellen för farligt avfall än cellen för hushållsavfall.

Med hjälp av PCA-analys och CCA-beräkningar är det möjligt att identifiera om provpunkter överlappar varandra eller om kompletteringar genom nya provpunkter behövs, särskilt i partier av deponin som inte påverkas så mycket av ytvatten, bevattning eller grundvatteninträngning. Med PCA-analys är det också möjligt att skilja mätvärden som berättar om biogeokemiska processer inom deponin från mätvärden som huvudsakligen indikerar blandning mellan ytvatten/grundvatten och lakvatten. PCA-analys bör kunna användas för att optimera egenkontroll- och tillsynsprogram.

Som med all statistik är det viktigt att ha grunduppgifter att utgå ifrån. Egenkontroll som görs var tredje månad behöver pågå under många år för att generera tillräckligt mycket statistiskt underlag som kan användas för utvärderingar. Skall man ta fram prognoser och förklara förändringar i lakvatten och deponi bör mätningarna göras betydligt oftare, helst varje månad. Kanske skulle egenkontrollen göras bäst om ett litet antal parametrar dokumenterades ofta (lämpligen pH, temperatur, TOC/COD, alkalinitet, konduktivitet, kalcium, magnesium, natrium, kalium, klorid och sulfat).

Deponiägare och myndigheter bör också fundera över vad syftet egentligen är med övervaknings- och kontrollprogram: att övervaka de biogeokemiska processer som pågår inne i deponin, eller att kontrollera eventuella emissioner från deponin till omgivande natur.

## Tack

Författarna vill tacka Avfall Sverige, MERAB, Renova och SYSAV för finansiell stöd och förtroende i arbetet

med multivariata analyser. Dessutom uppskattas WIT Press (Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, S040 7AA, UK) generositet att tillåta användningen av figurerna 1 till 7 i detta arbete. Cintia Uvo tackas för introduktionen till multivariata verktygens potential.

## Referenser

- Andreas, L., Ecke, H., Shimaoka, T., Lagerkvist, A., Characterizing landfill phases at full-scale with the aid of test cells, Sardinia 1999, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, Italien, 1999.
- Barnett, T. P., Preissendorfer, R., Origins and Levels of Monthly and Seasonal Forecast Skill for United States Surface Air Temperatures Determined by Canonical Correlation Analysis, *Monthly Weather Review*, 115, pp. 1825–1850, American Meteorological Society, 1987.
- Börjesson M., Kontrollprogram för deponier – en utvärdering, Geologiska institutionen, Lund 1996.
- Ecke, H., Bergmann, A. & Lagerkvist A., Multivariate Data Analysis (MVDA) in Landfill Research, *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 25:1, 33–9, 1998.
- Jackson, J. E., A user's guide to principle components, Wiley & Sons, Inc., 1991.
- Kylefors, K., Evaluation of leachate composition by multivariate data analysis (MVDA), *Journal of Environmental Management*, 68:4, pp. 367–376, 2003.
- Pantsar-Kallio, M., Majunen, S.-P., Hatzimihalis, G., Koutoufides, P., Minkkinen, P., Wilkie, P. J., Connor, M. A., Multivariate data analysis of key pollutants in sewage samples: a case study, *Analytica Chimica Acta*, 393, pp. 181–191, 1999.
- van Praagh, M., M. Persson och K.M. Persson: Assessment of hydrological parameters in column leaching tests by time domain reflectometry, SARDINIA 2005, 10th international waste management and landfill symposium.
- van Praagh, M. och K.M. Persson: National Translation of the EU landfill directives: Will Swedish Landfills become sustainable? *Journal of Sustainable Planning and Development*, 1(1) 46–60, 2006.
- van Praagh, M. och Persson, K.M. Miljökonsekvenser av ändrade deponierings-förhållanden. Rapport till RVF:s deponigrupp, 2005.
- van Praagh, M., Karlsson, E. och K.M. Persson. Efficiency control of landfill leachate irrigation on energy crops. 2005. Uppsats som presenteras vid EcoTech 2005, Kalmar 28–30 nov. 2005.
- van Praagh, M. och Persson, K. M. Reconsidering Landfill Monitoring with the Aid of Multivariate Data Analysis, *Proceedings Waste Management 2004*, Rhodes, Greece, 29 September – 1 Oktober 2004.
- Svensk avfallshantering 2004, RVF 2005.

